

学校编码: 10384

分类号\_\_\_\_\_密级\_\_\_\_\_

学号: 200428003

UDC\_\_\_\_\_

厦门大学

硕士学位论文

# 基于 CT 图像的活体肝移植功能测算模型研究

**Research on Functional Calculation of Living Donor Liver  
Transplantation Based on CT Dataset**

吴 韦 力

指导教师姓名: 王 博 亮 教授

专 业 名 称: 计算机系统结构

论文提交日期: 2007 年 5 月

论文答辩时间: 2007 年 5 月

学位授予日期: 2007 年 月

答辩委员会主席: \_\_\_\_\_

评 阅 人: \_\_\_\_\_

2007 年 5 月

厦门大学博硕士论文摘要库

## 厦门大学学位论文原创性声明

兹呈交的学位论文，是本人在导师指导下独立完成的研究成果。本人在论文写作中参考的其他个人或集体的研究成果，均在文中以明确方式标明。本人依法享有和承担由此论文产生的权利和责任。

声明人（签名）：

年 月 日

厦门大学博硕士论文摘要库

## 厦门大学学位论文著作权使用声明

本人完全了解厦门大学有关保留、使用学位论文的规定。厦门大学有权保留并向国家主管部门或其指定机构送交论文的纸质版和电子版,有权将学位论文用于非赢利目的的少量复制并允许论文进入学校图书馆被查阅,有权将学位论文的内容编入有关数据库进行检索,有权将学位论文的标题和摘要汇编出版。保密的学位论文在解密后适用本规定。

本学位论文属于

1. 保密 (    ), 在    年解密后适用本授权书。
2. 不保密 (    )

(请在以上相应括号内打“√”)

作者签名:                      日期:            年        月        日

导师签名:                      日期:            年        月        日

厦门大学博士论文摘要库

## 摘要

虚拟器官的建模和仿真是当前生物医学工程学研究的前沿课题。肝脏作为人体最大的实质性脏器，其建模与仿真系统的实现具有十分重要的科研价值和实用意义，不仅可以应用于解剖教学，更有助于肝脏外科手术计划的制定。

作为虚拟肝脏及其手术计划系统的组成部分，本文主要是针对基于 CT 图像的肝脏模型简化和肝脏功能测算模型进行了研究。首先，本文针对医学图像的特点提出了一种改进的基于二次误差测度的网格简化算法，有助于保留细节特征和改善网格分布，提高了系统性能。其次，肝脏功能测算对于活体肝移植术及肝脏切除术的成功至关重要，其核心部分是各肝段体积的计算，本文研究了肝脏“五叶八段”的划分，通过提取肝内管道的主干中心线和设定投影平面完成了体素的分类，并据此计算出各肝段的体积。最后，本课题将肝脏功能测算模型的成果集成到肝脏手术计划系统中，设计了相关界面并使用配置文件增加了其灵活性。

本文的研究工作内容及创新主要包括以下几点：

1. 针对医学图像的特点，提出一种改进的基于二次误差测度的网格简化算法。通过对顶点进行分类加权，在简化过程中更好地保持了模型的细节特征，同时考虑了网格中三角面的分布情况，减小了几何误差。结果表明，算法既保持了原算法快速的优点，又满足了医学图像处理对逼真度和网格质量的较高要求。
2. 根据肝内管道树的特点，提出基于长度和阈值的方法来识别各分支子树并提取对应的主干中心线。
3. 以主干中心线为依据，通过基准平面将空间划分问题转换成平面划分问题，并基于线段完成了除尾状叶外的肝段划分。
4. 用基于二次多项式的曲线拟合完成了肝段划分，提高了肝段划分的速度，放宽了数据完整性的要求。

关键词：网格简化；肝段；体积

厦门大学博硕士论文摘要库



## Abstract

The modeling and simulation of virtual organ is one of the frontier areas of biomedicine research. As the largest internal organ within human body, liver plays a significant role in modeling and simulation from academic or practical respect, it is vital not only for anatomy education but also to the liver surgery planning.

As a part of research on virtual liver and surgery planning system, this thesis focused on simplification of mesh model and Functional Calculation based on CT Dataset. First, an improved mesh simplification algorithm based on quadric error metrics was put forward for the features of medical image. It could help to preserve the specific features and improve mesh distribution, making the system more efficient. Second, Functional Calculation is vital to the Living Donor Liver Transplantation and hepatectomy, and the key point is the volume of liver segments. This thesis studied the Couinaud's classification, completed voxel classification by extracting the skeleton lines of the intrahepatic vessels and projection plane, and calculated the volume of liver segments based on it. Finally, the production of Functional Calculation was integrated into the liver surgery planning system. The interface was designed and a configuration file was introduced to improve flexibility.

The main contributions of this thesis are mainly lie in the following aspects:

1. An improved mesh simplification algorithm based on quadric error metrics was put forward for the features of medical image. The algorithm, by classifying the vertices, preserved the specific features of the model during the process of simplification. Meanwhile, how triangles were distributed in the mesh was also taken into consideration and thus reduced geometric error. It has been proved that the new algorithm not only maintains high efficiency of the original algorithm, but also meets higher requirements of medical image processing in terms of fidelity and mesh quality.
2. An algorithm based on length and threshold was put forward to recognize the subtrees and extract the skeleton lines of them for the features of intrahepatic vessels.

3. The division of liver segments is completed through converting the Couinaud's classification from space to plane by Reference Plane based on skeleton lines.
4. The division of liver segments based on quadratic curve fitting is completed, which improved the speed and lessen of the requirements of data integrity

Key Words: mesh simplification; liver segments; volume

# 目录

<b>第一章 绪论</b>	<b>1</b>
1.1 虚拟肝脏研究的意义和现状	1
1.2 本文的研究工作及创新之处	4
1.3 本文组织结构及章节安排	5
<b>第二章 肝脏表面模型的简化</b>	<b>7</b>
2.1 肝脏三维表面模型简化的意义	7
2.2 常见的网格简化算法	8
2.2.1 顶点聚类法	9
2.2.2 区域合并法	9
2.2.3 重新布点法	10
2.2.4 逐步求精法	10
2.2.5 几何元素删除法	10
2.3 QEM 算法	12
2.3.1 二次误差测度	12
2.3.2 新顶点的位置	13
2.3.3 算法的关键步骤	13
2.4 改进的基于二次误差测度的网格简化算法	14
2.4.1 QEM 算法的局限	14
2.4.2 顶点分类	15
2.4.3 基于顶点分类的边折叠	15
2.4.4 网格分布的调整	16
2.4.5 算法描述	17
2.4.5.1 数据结构	17
2.4.5.2 算法步骤	17
2.4.5.3 算法复杂度	18
2.5 实验结果与分析	19
2.6 本章小结	20
<b>第三章 肝脏的分段及功能测算模型</b>	<b>21</b>
3.1 肝段的划分标准及意义	21
3.2 基础数据及预处理	24
3.3 肝脏管道各主干中心线的提取	26
3.3.1 肝内管道数据特征分析	26
3.3.2 寻找肝静脉的三棵分支子树	27
3.3.3 分支子树的主干中心线提取	28
3.3.4 识别三棵分支子树的类型	28
3.3.5 对肝左静脉子树的特殊处理	29

3.3.6 门静脉右支的主干中心线提取.....	30
3.3.7 提取出来的各主干中心线.....	32
<b>3.4 基于线段的肝段划分 .....</b>	<b>33</b>
3.4.1 基于线段划分的理论基础.....	33
3.4.2 投影到坐标轴平面的肝段划分.....	35
3.4.3 投影到基准平面的肝段划分.....	38
<b>3.5 基于曲线拟合的肝段划分 .....</b>	<b>42</b>
<b>3.6 本章小结 .....</b>	<b>50</b>
<b>第四章 肝脏手术计划系统 .....</b>	<b>51</b>
4.1 开发工具介绍 .....	51
4.1.1 Open Inventor 介绍 .....	51
<b>4.2 手术计划系统设计 .....</b>	<b>54</b>
4.2.1 系统数据流程.....	54
4.2.2 系统界面设计.....	54
4.2.3 肝脏功能测算的集成.....	56
4.2.4 系统配置.....	57
<b>4.3 本章小结 .....</b>	<b>58</b>
<b>第五章 总结和展望 .....</b>	<b>59</b>
<b>参考文献 .....</b>	<b>61</b>
<b>攻读硕士学位期间发表论文及科研情况 .....</b>	<b>65</b>
<b>致谢 .....</b>	<b>67</b>

# CONTENTS

<b>Chapter 1. Introduction.....</b>	<b>1</b>
1. 1 Virtual Liver .....	1
1. 2 Research and Innovation .....	4
1. 3 Structure of Thesis. ....	5
<b>Chapter 2. Mesh Simplification .....</b>	<b>7</b>
2. 1 Significance .....	7
2. 2 Classic Mesh Simplification Algorithms .....	8
2.2.1 Vertex-Clustering .....	9
2.2.2 Region Merging .....	9
2.2.3 Re-Tiling .....	10
2.2.4 Subdivision .....	10
2.2.5 Deleting of Geometric Elements.....	10
2. 3 QEM Algorithm .....	12
2.3.1 Quadric Error Metrics .....	12
2.3.2 New Location.....	13
2.3.3 Key steps of Algorithms.....	13
2. 4 Improved Mesh Simplification Algorithm Based on QEM .....	14
2.4.1 Limitation of QEM Algorithm.....	14
2.4.2 Vertex Classification .....	15
2.4.3 Edge Collapse Based on Vertex Classification .....	15
2.4.4 Adjust Triangles' Distribution.....	16
2.4.5 Description of Algorithm .....	17
2. 4. 5. 1 Data Structure. ....	17
2. 4. 5. 2 Steps of Algorithm .....	17
2. 4. 5. 3 Complexity of Algorithm .....	18
2. 5 Result and Analysis .....	19
2. 6 Conclusion .....	20
<b>Chapter 3. Couinaud's Classification and Functional Calculation .</b>	<b>21</b>
3. 1 Significance.....	21
3. 2 Fundamental Data and Pretreatment .....	24
3. 3 Skeleton Lines of Intrahepatic Vessels Extration .....	26
3.3.1 Data Analysis .....	26
3.3.2 Searching Subtrees of Hepatic Vein.....	27
3.3.3 Skeleton Lines of Subtrees Extration.....	28
3.3.4 Subtrees Recognition .....	28
3.3.5 Special Treatment.....	29

3.3.6 Skeleton Lines of Right Portal Vein Extration.....	30
3.3.7 Skeleton Lines.....	32
<b>3. 4 Division of Liver Segments Based on Lines. . . . .</b>	<b>33</b>
3.4.1 Principle .....	33
3.4.2 Project to Coordinate Plane .....	35
3.4.3 Project to Reference Plane .....	38
<b>3. 5 Division of Liver Segments Based on Curve Fitting. . . . .</b>	<b>42</b>
<b>3. 6 Conclusion . . . . .</b>	<b>50</b>
 <b>Chapter 4. Liver Surgery Planning System . . . . .</b>	 <b>51</b>
<b>4. 1 Development Tools . . . . .</b>	<b>51</b>
4.1.1 Open Inventor .....	51
<b>4. 2 System Design. . . . .</b>	<b>54</b>
4.2.1 Data Flow Chart.....	54
4.2.2 Interface Design.....	54
4.2.3 Functional Calculation Integration .....	56
4.2.4 System Configuration .....	57
<b>4. 3 Conclusion . . . . .</b>	<b>58</b>
 <b>Chapter 5. Conclusion and Prospect . . . . .</b>	 <b>59</b>
 <b>References. . . . .</b>	 <b>61</b>
 <b>Achievements . . . . .</b>	 <b>65</b>
 <b>Acknowledgements . . . . .</b>	 <b>67</b>

## 第一章 绪论

多学科交叉已经成为现代科学技术发展的热点之一，医学虚拟现实和仿真技术是其中的典型代表，它涵盖了医学，计算机技术，物理学，电子学等多个学科领域。

随着人体数字化、可视化技术的发展，对医学生物学及人体相关学科产生了难以估量的影响。传统医药学的研究和教学依赖于大量动物和人体实验，可重用性差，如今可以在一定程度上用计算机模拟替代；传统的医学临床实践，往往是依赖经验判断，对医生的水平要求较高，且风险较大，而利用计算机技术，可以获得精确的定量描述和直观的图像显示，能有效提高医生诊治的成功率。21 世纪是生物世纪，以人体科学为中心的科学技术将以前所未有的速度发展，随着信息获取和处理技术的进步、数据采集精度的提高，将在越来越精确和广泛的程度上模拟人体的功能和行为，并促进形成新一代医疗高新技术产业，大大加速我国医学教育和临床的现代化。

### 1.1 虚拟肝脏研究的意义和现状

肝脏是人体最大的消化器官，被人们称为“物质代谢中枢”、人体内最大的“化工厂”。原发性肝癌（HCC）为肝脏最常见的原发性恶性肿瘤，高发于非洲东南部和东南亚，我国多见于东南沿海的江苏、福建、广东、广西等省。厦门地区肝癌发病率居国内前列。就死亡率而言，肝癌为我国癌症的第三位，每年有 11 万人死于肝癌。

肝脏移植是临床治疗急性肝衰竭和终末期肝病重要手段，世界上已有 40 多年的历史，但供肝来源匮乏一直是影响肝移植深入发展的世界性难题。在欧美国家，由于供肝来源严重不足，每年只有 1/5~1/4 的患者能获得移植的机会；在尚未制定“脑死亡法”的亚洲等国家，供肝缺乏的矛盾更加突出。活体供肝肝移植（Living Donor Liver Transplantation，简称 LDLT）在这种背景下应运而生，具有供肝来源广、质量高、排异轻、预后较好和费用低等优点。鉴于儿童供肝来源较成人更加匮乏，LDLT 初期主要针对儿童的先天性肝病，随着技术的迅速发展，LDLT 的

适应症逐步扩展至成年人。日本的 Makuuchi 等于 1993 年成功地施行了首例成人间左叶 LDLT。1996 年, 香港大学玛丽医院施行了世界上首例成人活体右半肝脏移植并获得成功。国内 LDLT 手术开展较早, 1995 年 1 月南京医科大学第一附属医院成功完成一例临床活体供肝肝移植。2001 年成功实施首例有血缘关系的亲体原位部分肝移植, 患儿术后康复理想。2001 年至 2003 年间国内四所医院采用 LDLT 手术的 45 例中, 1 年存活期和 3 年存活期的总体比例分别高达 93.1% 和 92.0%<sup>[1]</sup>。2005 年 4 月, “中国活体肝脏移植研究所” 在江苏省人民医院 (南京医科大学第一附属医院) 成立。

LDLT 即是从健康人肝脏切取一部分移植到病人体内, 由于其技术复杂, 术后管理困难, 被称作肝胆外科学的“制高点”, 世界上也仅有少数发达的国家和地区才能开展。LDLT 现有术式主要为: 肝左外叶移植、肝左叶移植 (不包括肝中静脉)、扩大肝左叶移植 (包括肝中静脉) 和肝右叶移植术。供肝大小和术式的选择多根据受体的年龄和体重估计。

目前 LDLT 手术过程一般是先对供受体进行一系列测试和评估, 所有指标合格并与受体相符后, 同时进行手术。其中肝脏功能测算是事关手术成功和供受体存活的一个关键问题。功能测算模型不但包括肝功与生化测试, 肝脏体积也是其核心部分, 是一个重要的肝脏储备功能指标, 能直观地反映肝脏容量和肝细胞数量, 间接反映肝脏的血流灌注和代谢能力, 因此术前计算切取移植物的体积与重量至关重要。同时还要明确肝内血管走向, 特别是肝左静脉和肝中静脉的关系及肝左中静脉合干汇入下腔静脉合干处的解剖, 以确定肝切除线。此外, 术前精确辨认一些来自肝五叶和八段的横跨分支, 了解这些分支的走行, 有利于保护重要的血管结构, 从而使失血量达到最小。

LDLT 的成功, 其重要一点是通过影像学技术使外科医生能够“看见”肝内的管道系统, 目前基本是依靠计算机体层成像 (Computed Tomography, 简称 CT) 或磁共振成像 (Magnetic Resonance Imaging, 简称 MRI)。由于半肝移植是最常见的术式, 通过医学影像确认肝中静脉的走行和准确评估肝左叶和右叶的体积尤为重要。

此外, 肝脏切除手术是治疗可切除肝癌的主要方法, 但不能为了治疗的彻底性无谓地扩大切除范围, 因为肝癌患者多合并有慢性肝炎或肝硬化, 在片面追求



Degree papers are in the "[Xiamen University Electronic Theses and Dissertations Database](#)". Full texts are available in the following ways:

1. If your library is a CALIS member libraries, please log on <http://etd.calis.edu.cn/> and submit requests online, or consult the interlibrary loan department in your library.
2. For users of non-CALIS member libraries, please mail to [etd@xmu.edu.cn](mailto:etd@xmu.edu.cn) for delivery details.

厦门大学博硕士论文摘要库